(Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock.)

Ueber das

Sauerstoffbedürfniss des ausgeschnittenen Säugethierherzens.

Von

Günther Strecker.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der

Medicinischen Doktorwürde

der

hohen Medicinischen Fakultät zu Rostock

vorgelegt.

Bonn, 1900.

Separat-Abdruck aus dem Archiv für die ges. Physiologie Bd. 80.

Verlag von Emil Strauss.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock.)

Ueber das Sauerstoffbedürfniss des ausgeschnittenen Säugethierherzens.

Von

Günther Strecker.

(Hierzu Tafel IV und V und 1 Textfigur.)

Ueber den Einfluss des Sauerstoffs auf das überlebende Froschherz und über die Bedeutung, die demselben für die rhythmische Schlagfolge des Herzens beizumessen ist, sind zahlreiche Untersuchungen angestellt worden. Die Ergebnisse derselben und in Folge dessen die Ansichten der Autoren sind einander aber noch widersprechend. Hatte man aus den freilich mit ungenügenden Mitteln angestellten Experimenten von Humboldt, später von Castell u. A. den Schluss ziehen dürfen, dass die Zufuhr von freiem Sauerstoff für die Leistungen des isolirten Froschherzens nützlich, auf die Dauer nothwendig sei, so sah im Gegensatz dazu Pflüger das Herz eines Frosches, der viele Stunden lang sich in einer vollkommen sauerstofffreien Atmosphäre befunden hatte, kräftig schlagen; und hatten die aus der Schule Kronecker's hervorgegangenen Versuche von Mc. Guire, Sophie Handler und Julia Divine ergeben, dass der Sauerstoffgehalt der Speisungsflüssigkeit des künstlich durchströmten Froschherzens gleichgültig ist, so hat man andererseits aus den Untersuchungen von Cyon, Luciani, Rossbach, Merunowicz, Klug, Yeo, Heffter, Albanese, Oehrwall wieder folgern müssen, dass der Sauerstoff für die dauernde, gleichmässige Thätigkeit des Herzens unerlässlich sei.

Beim Vorhandensein solcher Widersprüche musste es von Interesse sein, an einem höher organisirten Herzen, wie es das der Warmblüter ist, Versuche über das Sauerstoffbedürfniss anzustellen, um so mehr, als für das aus dem Zusammenhang mit dem Thiere gänzlich losgelöste und durch künstliche Speisung am Leben erhaltene Organ gar keine oder doch nur oberflächlich die Frage berührende Angaben vorliegen. Das Wenige, das darüber zu finden ist, ist folgendes:

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Porter fand, dass, wenn er das in einem Gefäss eingeschlossene isolirte Säugethierherz nach einer von Locke angegebenen Idee mit Sauerstoff unter hohem Druck umgab, blutkörperchenfreies Serum stundenlang den Herzschlag unterhalten konnte.

Ferner liegen einige Beobachtungen von Rusch vor, aus denen sich Schlüsse über das Sauerstoffbedürfniss des Säugethierherzens ergeben. Seine Versuche, in denen er u. a. das Herz mit blutkörperchenfreiem Serum zu ernähren versuchte, zeigen, dass es einer grossen Durchströmungsgeschwindigkeit (durchschnittlich ca. 60 ccm pro Minute) bedurfte, um die Herzpulse einigermaassen kräftig und eine Zeit lang auf gleicher Höhe zu erhalten. Rusch bezieht wohl mit Recht die Nothwendigkeit dieser schnellen Durchströmung auf das Sauerstoffbedürfniss des Herzens.

Rusch hat in seiner Dissertation (deren Inhalt in die in diesem Archiv veröffentlichte Abhandlung nur theilweise übergegangen ist) auch Versuche mit entgastem Blute mitgetheilt, durch die er indessen zu keinem abschliessenden Resultat gelangt ist.

Auf Anregung des Herrn Professor Langendorff habe ich es nun im Laufe des Jahres 1898 unternommen, durch systematische Versuche die endgültige Lösung der „Sauerstofffrage“ anzubahnen. Ich habe mich dabei des ausgeschnittenen und künstlich von seinen Kranzarterien aus durchströmten Katzenherzens bedient und zu diesem Zwecke das Verfahren benutzt, das seit mehreren Jahren im hiesigen Laboratorium üblich ist.

I. Versuche mit entgastem Blut.

Im Anschluss an die von Rusch begonnenen Experimente habe ich zunächst versucht, das Warmblüterherz mit Blut, das durch Entgasung von Sauerstoff befreit war, zu ernähren. Diese Versuche bieten eine ganz besondere Schwierigkeit. Aus den neuen Arbeiten von Kühne über das Sauerstoffbedürfniss der Zelle hat man erst so recht gelernt, welcher Sorgfalt es bedarf, um selbst in einem kleinen zur Aufnahme eines mikroskopischen Objectes bestimmten Raum den Sauerstoff völlig zu beseitigen und dauernd fernzuhalten. Bedeutend wachsen die Schwierigkeiten an, wenn es sich darum handelt, eine reichliche Menge Blutes seines ganzen Sauerstoffgehaltes zu berauben und diese Speisungsflüssigkeit, die so leicht sich zu oxydiren im Stande ist, unter Druck durch die Kranz-

gefässe des Herzens zu leiten, ohne dass dabei auf dem Wege zum Herzen oder im Herzen selbst eine Aufnahme von atmosphärischem Sauerstoff erfolgt. Ich kann daher auch nicht behaupten, dass mir die völlige Fernhaltung gelungen sei, und ich muss zugeben, dass, wenn sich meine Erfahrungen nur auf diese Versuche beschränken würden, ich zu den später anzuführenden Schlüssen nicht berechtigt sein würde.

Ein Versuch von Rusch, von dem ich einen Curvenausschnitt in Fig. 1 (Taf. IV) mittheile, ist in der Fernhaltung des Sauerstoffs noch weniger weit gegangen als meine eigenen Experimente. Hier war das Blut völlig entgast worden; auch ist anzunehmen, dass seine Ueberleitung bis zum Herzen gelungen ist, ohne dass unterwegs Sauerstoff aufgenommen wurde; aber das Herz selbst befand sich in einem mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten, die dem in den oberflächlichen Herzgefässen kreisenden sauerstoffgierigen Blut doch vielleicht Sauerstoff zuzuführen vermochte.

Das mit 0,8% Kochsalzlösung verdünnte Blut war bei diesem am 24. Juni 1898 angestellten Versuch in ähnlicher Weise ausgepumpt worden, wie bei meinen später mitzutheilenden Experimenten. Das Versuchsherz wurde mit Kochsalzlösung erschöpft; um es vor der Blutzufuhr von Sauerstoff möglichst zu befreien, wurde dieser Spülung eine solche mit ausgekochter Kochsalzlösung zugefügt (s. d. Signallinie 1), dann in das völlig stillstehende Herz das entgaste Blut geleitet.

Die Aufzeichnung zeigt, dass nur schwache, wenig regelmässige Pulse entstehen. Bei dem Signal *s* (2. Reihe) wird der Blutstrom verstärkt und dadurch erreicht, dass die Temperatur des dem Herzen zugeführten Blutes, die bisher ziemlich niedrig gewesen war, bis auf 35° ansteigt. Die Folge davon ist eine Zunahme der Herzfrequenz; aber die Energie des Herzschlages bleibt so gering wie vorher. Nachdem die Pulsationen in dieser Weise noch kurze Zeit gedauert hatten, wurde das Blut wieder durch entgaste Kochsalzlösung ersetzt, mit dem Erfolge eines schnellen Aufhörens der Pulse. Erneute Zuleitung von entgastem Blut rief nur noch sehr schwache und immer schwächer werdende Schläge hervor, die schliesslich fast völlig versagten. Noch vor ihrem gänzlichen Aufhören war die zur Verfügung stehende Blutmenge zu Ende.

Die mitgetheilte Aufzeichnung illustrirt nur den ersten Theil des Versuchs.

Eigene Versuchsmethode.

Bei meinen eigenen Versuchen habe ich mich, um eine möglichste Fernhaltung des Sauerstoffs zu erzielen, des folgenden in Fig. 2 skizzirten, grösstentheils mit dem von Rusch übereinstim-

menden Verfahrens bedient, bei dem ich übrigens, um die Schwierigkeiten nicht allzusehr zu häufen, auf die graphische Darstellung verzichtend, mich mit der blossen Beobachtung begnügt habe.

Als Blutrecipienten benutzte ich eine mit einem trichterförmigen Aufsatz versehene, ca. 1000 ccm fassende Flasche (*A* in Fig. 2), die mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen war. Durch diese Bohrungen waren zwei oberhalb des Trichters nach aussen abgebogene Glasröhren gesteckt, deren eine *a* bis auf den Boden des Gefässes reichte, die andere *b* gleich unterhalb des Stopfens endigte. Der trichterförmige Ansatz über dem Stopfen war mit Quecksilber gefüllt, das zwei in die beiden Glasröhren eingeschliffene Verschlusshähne vollkommen bedeckte. — Diese Blutflasche wurde zunächst vermittelst einer Pflüger'schen Pumpe evacuirt, dann vom Rohr *b* aus etwa zur Hälfte mit dem defibrinirten und filtrirten, auch durch 2 Vol. 0,8 %ige Kochsalzlösung verdünnten Katzenblut gefüllt.

Das Rohr *a* stand durch einen dickwandigen Gummischlauch in Verbindung mit dem Quecksilber enthaltenden, in passender Höhe angebrachten Druckgefäss *D*. Dieses wurde, da sich leicht zwischen dem Quecksilber und der Flaschenwand Luftblasen festsetzen, vorher ebenfalls mit dem Vacuum in Verbindung gebracht und von adhärirender Luft völlig befreit. Nach Evacuirung der Flasche *A* öffnete man für einen Augenblick den Hahn der Röhre *a*, liess dadurch etwas Quecksilber in den Recipienten einfliessen und füllte auf diese Weise den Verbindungsschlauch zwischen *A* und *D* völlig mit Quecksilber an. — Dann wurde die Röhre *b* durch einen sehr dickwandigen Gummischlauch wieder mit der Pflüger'schen Quecksilberpumpe verbunden und die Entgasung des Blutes begonnen. Der Recipient *A* stand dabei in einem Wasserbade *B*, dessen Temperatur das Thermometer *C* angab. Die Wasserwärme betrug etwa 40°, zu Anfang etwas mehr.

Nachdem die Entgasung bewerkstelligt war[1]), was bei der

---

1) Der Fortschritt der Entgasung wurde an dem an den Wänden des Recipienten aufspritzenden Blute mittelst eines Taschenspektroskops controlirt. Nachdem völlige Entgasung anzunehmen war, wurde ein 5 mm weites von planparallelen Glaswänden begrenztes Absorptionsgefäss mit ausgekochter und noch heisser Kochsalzlösung gefüllt und mit flüssigem Paraffin übergossen. Nach deren Erkalten wurden unter sorgfältigem Luftausschluss von dem entgasten

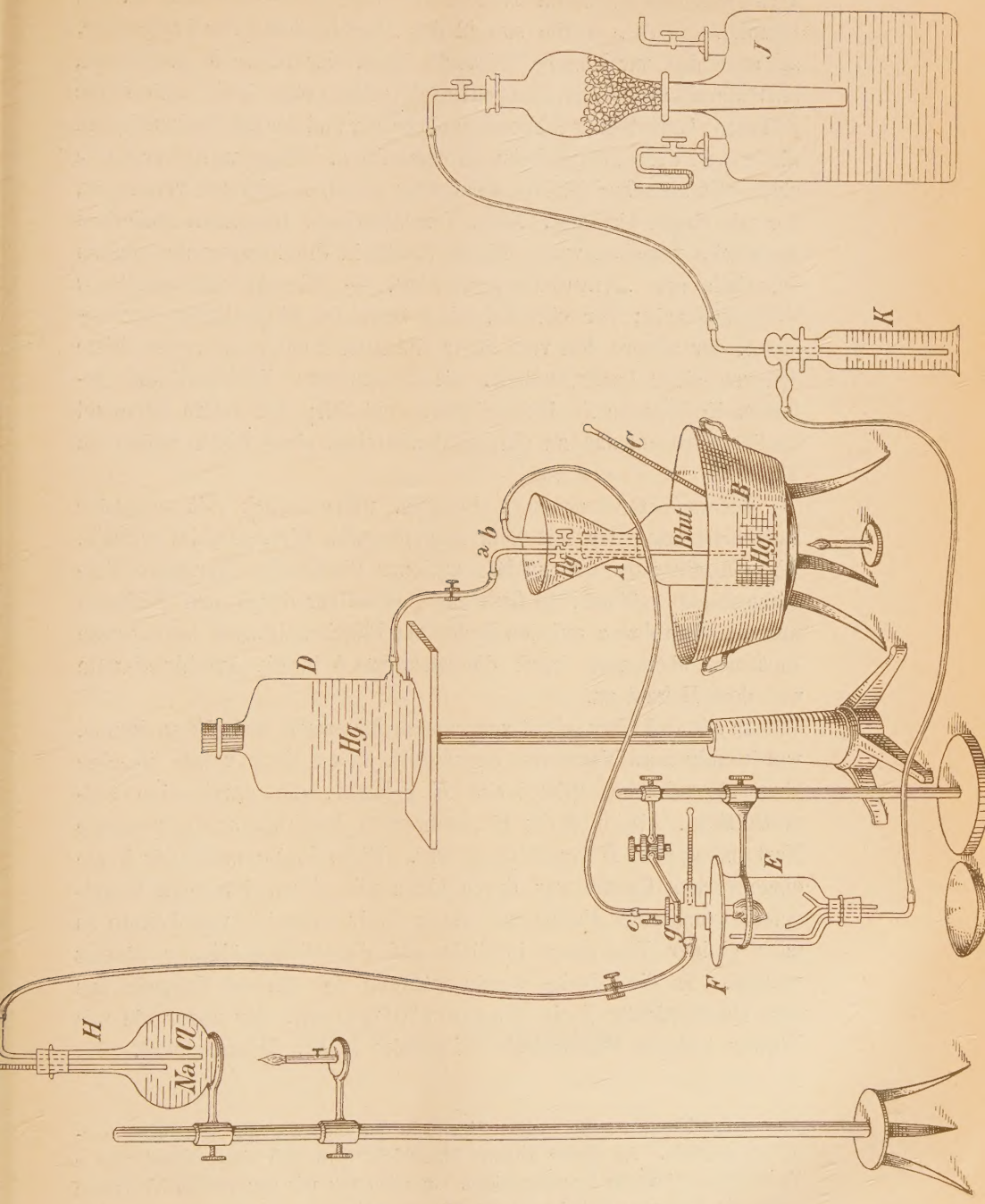


Fig. 2.

verhältnissmässig grossen Flüssigkeitsmenge (300—400 ccm) ca. $1^1/_2$ Stunden dauerte, wurde sowohl der Abschlusshahn der Luftpumpe, als auch der zur Flasche führende Hahn der Röhre *b* geschlossen, am Schlauche nahe dem Pumpenverschlusshahn eine sicher schliessende Pflüger'sche Schlauchklemme angebracht und der Schlauch zwischen dieser und dem Pumpenhahn durchschnitten. Dann wurde er durch einen mit ausgekochter Kochsalzlösung gefüllten Schlauch verlängert, der mit einem eisernen, einen Verschlusshahn tragenden konischen Endstücke versehen war. Dieses passte in die Fassung des oberen Schenkels der „Anschlusscanüle". — Die Anschlusscanüle *g* ist kreuzförmig; der eine Schenkel trägt das eingekittete Thermometer, der andere den vom Blutrecipienten kommenden, der dritte den von einer hochgestellten, mit ausgekochter Kochsalzlösung gefüllten Kochflasche *H* hergeleiteten Schlauch; der letzte Schenkel endlich führt an das zu durchspülende Herz eines frisch getödteten Thieres.

Dieses konnte so nach Belieben unter Druck mit entgaster Kochsalzlösung oder mit dem ausgepumpten Blut gespeist werden. Wurden die zum Druckgefäss und zur Blutflasche führenden Verschlusshähne geöffnet, so floss das Quecksilber durch den Schlauch und die Glasröhre *a* auf den Boden der Flasche, drängte das entgaste Blut nach oben und durch die Glasröhre *b* in die Anschlusscanüle und dem Herzen zu.

Damit das Herz nicht von aussen Sauerstoff aufnehmen könne, wurde folgendes Verfahren angewandt. Das Herz wurde in eine oben abgeschliffene Glasglocke *E* gehängt, die durch eine aufgeschliffene, die luftdicht eingeschraubte Anschlusscanüle tragende Hartgummiplatte *F* verschlossen war. Diese Platte nebst der in sie eingelassenen Canüle war durch einen mit einem doppelten Kugelgelenk versehenen Halter an einem Stativ befestigt und konnte so nach einiger Einfettung luftdicht auf die Glockenöffnung gesetzt werden. In die Glocke wurde während des ganzen Versuchs aus dem Gasentwickler *I* ein Wasserstoffstrom, der zuvor die mit Wasser gefüllte Waschflasche *K* passirt hatte, hineingeleitet. Zu

---

Blut einige Tropfen mittelst einer Pipette in die unter Paraffin befindliche Salzlösung gebracht. An dieser dünnen Blutschicht liess sich die spektroskopische Untersuchung bequem bewerkstelligen. In allen von mir angestellten Versuchen zeigte die Blutprobe lediglich das Reductionsband.

diesem Zwecke war die untere Oeffnung der Glocke durch einen Gummistopfen verschlossen, der mit zwei Bohrungen versehen war, deren eine das bis nach oben reichende Glasrohr für die Zuleitung des Wasserstoffs, die andere ein *Y*-förmiges Rohr aufnahm, dessen längerer Schenkel zur Ableitung der verdrängten Luft, der kürzere zum Abfluss des aus dem Herzen ausfliessenden Blutes diente. Zur Erschöpfung des Herzens wurde, wie oben angegeben, ausgekochte und unter flüssigem Paraffin aufbewahrte Kochsalzlösung benutzt. Die Ergebnisse meiner mittels dieses Verfahrens ausgeführten Versuche lassen sich mit wenigen Worten berichten.

Es wurde oben erwähnt, dass in dem von Rusch angestellten Versuch das durch Kochsalzlösung erschöpfte Herz durch Spülung mit entgastem Blut zum sehr schwachen, wenig regelmässigen, aber doch immerhin eine Zeit lang anhaltenden Schlagen angeregt worden ist. Dasselbe war in meinen Versuchen, trotz der wahrscheinlich noch vollkommneren Fernhaltung des Sauerstoffs der Fall. Ein völliges Versagen oder eine schnelle Erlahmung, wie ich sie erwartet hatte, trat nicht ein. Dagegen liess sich feststellen, dass, wenn das durch das Herz geflossene Blut mit Luft geschüttelt und wieder hellroth gemacht worden war und in diesem Zustand dem Herzen zugeführt wurde, der elende Herzschlag sich sofort kräftigte und regelmässig wurde. Diese Versuche, die an und für sich wohl kaum zu bestimmten Schlüssen über die Bedeutung des Sauerstoffes berechtigen und auch nur gering an Zahl waren, wurden nicht weiter verfolgt, da mir inzwischen Herr Professor Langendorff ein anderes Verfahren angerathen hatte, nämlich die Speisung des Herzens mit Kohlenoxydblut, das zur Beantwortung der gestellten Frage besser geeignet schien. — Immerhin habe ich es im Interesse einer etwaigen Aufnahme dieser Experimente von anderer Seite für nützlich gehalten, die von uns benutzte Methode hier mitzutheilen und durch eine Abbildung zu erläutern.

II. Versuche mit Kohlenoxydblut.

Die Durchspülungsmethode bei meinen Versuchen war die von Langendorff in Pflüger's Archiv (Bd. 66, 1897) angegebene mit den von Rusch beschriebenen Modificationen, die ich als bekannt voraussetze. Zur Speisung sowohl mit arteriellem wie auch Kohlenoxydblut wurde ausschliesslich defibrinirtes Katzenblut benutzt,

und zwar derart, dass es mit dem gleichen Volumen 0,8 %iger NaCl-Lösung verdünnt wurde.

Das Kohlenoxydblut wurde auf folgende Weise hergestellt:

Das durch Erhitzen von Oxalsäure und Schwefelsäure gewonnene Kohlenoxydgas wurde zur Absorption der Kohlensäure zunächst durch zwei mit Aetzkalilauge gefüllte Waschflaschen geleitet. In einigen Fällen musste das Gas dann noch den langen Weg eines mit Barytwasser gefüllten Pettenkofer'schen Absorptionsrohres passiren. Das so gereinigte Gas wurde mittelst Schlauch und Glasröhre in die mit dem verdünnten Blut zur Hälfte angefüllte Flasche geführt und in einer Reihe von Versuchen $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde hindurchgeleitet. Dann wurde die Flasche verkorkt und die Blutlösung noch mit dem darüber befindlichen Kohlenoxydgas kräftig durchgeschüttelt.

Wie man von vornherein vermuthen darf, ist das in dieser Weise behandelte Blut noch nicht vollkommen mit Kohlenoxyd gesättigt; es ist hierzu vielmehr noch ein etwa 24stündiges Stehen der Blutmischung unter einer reinen Kohlenoxydatmosphäre bei öfterem Umschütteln nothwendig. Dieses Verfahren wurde in den späteren Versuchen benutzt. Natürlich würde man eine sehr vollkommene Sättigung auch dadurch erzielen, dass man das Blut durch Auspumpen von seinem Sauerstoff befreite und das so verloren gegangene Gas durch Kohlenoxydgas ersetzte.

Durch die spektroskopische Untersuchung scheint man die Anwesenheit geringer Mengen von Sauerstoff im Kohlenoxydblut kaum nachweisen zu können; denn in Fällen, wo die kurze Durchleitungszeit es wahrscheinlich und das Resultat der Versuche es sicher machte, dass in dem angewandten Kohlenoxydblut noch Sauerstoff vorhanden war, konnte ich in den vor Anstellung der Versuche entnommenen Blutproben, nach Zusatz von Schwefelammonium oder Stokes'scher Flüssigkeit, keinen Reductionsstreifen, sondern nur die beiden Kohlenoxydhämoglobinstreifen nachweisen.

Die Versuche, die ich mit Kohlenoxydblut anstellte, sind demgemäss zu ordnen in solche, bei denen eine völlige Sättigung des Blutes mit Kohlenoxydgas und völlige Verdrängung des Sauerstoffs angenommen werden musste, und in solche, bei denen die Sättigung unvollständig und ein Vorhandensein eines wenn auch geringen Sauerstoffgehalts vorauszusetzen war.

Folgende Resultate gehen aus diesen Versuchen hervor:

1. An Kohlenoxyd reiches, aber damit nicht gesättigtes Blut vermag das durch Spülung mit Kochsalzlösung erschöpfte Herz zu kräftigem, zuweilen sogar zu ungewöhnlich starkem Schlagen anzuregen. Die Energie des Herzens nimmt aber trotz grosser Strömungsgeschwindigkeit schneller ab, als dies bei arterieller Speisung der Fall zu sein pflegt. Die Herzthätigkeit kann in späteren Stadien ganz arhythmisch werden oder ein ausgesprochener Pulsus alternans auftreten.

Zur Erläuterung dieser Sätze diene der in Fig. 3 (Taf. IV) durch Ausschnitte aus den Aufzeichnungen dargestellte Versuch vom 27. Juli 1898.

Alte Katze. Blut von einer anderen Katze entnommen (80 ccm), mit gleichem Volumen Kochsalzlösung verdünnt; 25 Minuten lang Kohlenoxydgas hindurchgeleitet.

Durch das isolirte Herz des verbluteten Thieres 11^h 28′ Kochsalzlösung gespült. Nachdem das Herz erschöpft ist, wird 11^h 30′ mit der Kohlenoxydblutspeisung begonnen. Den Erfolg erläutert die Figur (Reihe 1).

Schon wenige Minuten später (Reihe 2) ist der Herzschlag bedeutend schwächer geworden. Um 11^h 43′ (Reihe 3) irregulärer, später regelmässiger, aber stark alternirender Herzschlag (Reihe 4).

Aus diesen und ähnlich verlaufenden Versuchen muss man übrigens schliessen — was für die Beurtheilung der später mitzutheilenden Versuche von Wichtigkeit ist —, dass das Kohlenoxydgas an sich das Herz nicht schädigt. Denn wenn das Herz bei Speisung mit an Kohlenoxydgas reichem Blut eine Zeit lang kräftig schlägt, bei schnellerem Blutstrom sogar besser als bei langsamem, kann das Gas weder für die motorischen noch für die nervösen Apparate des Herzens giftig sein. Wenn daher, wie wir später sehen werden, das Herz bei Speisung mit Kohlenoxydgas bis zur Sättigung enthaltendem Blut zu schlagen aufhört, so kann dies nicht auf einer positiv toxischen Wirkung dieses Blutes beruhen, sondern muss durch den Sauerstoffmangel bedingt sein, den solche Speisung mit sich bringt.

Zu denselben Ergebnissen sind auch andere Forscher gelangt. So schreibt der neueste toxikologische Untersucher des Kohlenoxydgases, Kunkel, demselben keine andere physiologische Wirkung zu als die auf das Hämoglobin.

2. Bei der Speisung mit ungesättigtem Kohlenoxydblut habe ich in einzelnen Fällen vorübergehendes Auftreten von periodischen Pulsgruppen beobachtet. Fig. 4 gibt solche Gruppen wieder,

die an gewisse Formen des Cheyne-Stokes'schen Phänomens des Athmungsapparates erinnern. In anderen Fällen wurden durch längere Pausen getrennte Schlagserien beobachtet.

Das Auftreten solcher Gruppen ist um so interessanter, als zwar seit den Untersuchungen von Luciani und Langendorff bekannt ist, dass periodisch aussetzendes Pulsiren beim erstickenden Kaltblüterherzen eintritt, ein solches aber beim Säugethierherzen meines Wissens bisher nur von Rusch (bei Speisung des isolirten Herzens mit sauerstoffarmem Blutserum) beobachtet worden ist. Da sowohl in seinem wie in meinem Falle eine Anhäufung von Erstickungsproducten im Herzen wegen der schnellen Durchspülung ausgeschlossen scheint, dürfte das Phänomen hier lediglich auf Sauerstoffmangel bezogen werden können. Damit würden die Folgerungen, die Oehrwall aus seinen sorgfältigen Versuchen am Froschherzen gezogen hat, auch für das Herz des Warmblüters gelten.

Dass für gewöhnlich beim Ersticken des Warmblüterherzens periodisch unterbrochenes oder anderweitig gruppenweises Schlagen nicht beobachtet wird, hat offenbar dieselben Gründe wie das analoge Verhalten des Athmungsapparates. Bei Verblutung oder anderweitiger Erstickung eines Frosches tritt immer eine periodisch aussetzende Respiration ein (Langendorff und Siebert, Luchsinger und Sokoloff); bei Warmblütern erscheint eine solche aber, wie Langendorff wahrscheinlich gemacht hat, nur dann in deutlicher Form, wenn die Erstickung eine langsame, mehr chronische ist. Auch das schnell erstickende Herz, nicht nur das im lebenden Thier befindliche, sondern auch das isolirte, bei dem man die Blutzufuhr plötzlich abschneidet, — zeigt in der Regel keine Gruppen (höchstens im Auftreten eines Pulsus alternans und ähnlicher Allorhythmien eine erste Andeutung davon), das langsam dem Sauerstoffmangel erliegende lässt dagegen Gruppen erscheinen.

3. Ein mit ungesättigtem, aber doch nur sauerstoffarmem Kohlenoxydblut gespeistes Herz erhält sich nur dann eine begrenzte Zeit hindurch bei kräftigem Schlage, wenn die Speisung sehr reichlich ist. (Die in einigen Fällen gemessene Durchströmungsgeschwindigkeit ergab durchschnittlich 40 ccm pro Minute.) Ungemein empfindlich ist es gegen Absperrung der Blutzufuhr. Ein mit arteriellem Blut ernährtes Herz wird bei Abstellung des Blutstroms nur langsam schwächer, und es dauert ziemlich lange, bis es völlig versagt. Das mit Kohlenoxydblut genährte Herz dagegen collabirt sehr rasch.

In Fig. 5 (Versuch vom 16. Juli 1898) ist davon ein Beispiel gegeben.

In diesem Versuche war durch 160 ccm frischen, mit dem gleichen Volumen 0,8% Kochsalzlösung verdünnten Blutes ¼ Stunde lang Kohlenoxydgas geleitet worden.

11h 46′ steht das Versuchsherz (eines anderen, alten Thieres) in Folge der Durchspülung mit Kochsalzlösung still und 11h 47′ beginnt die Blutspeisung. Anfangs kleine, ziemlich frequente Pulse, die bald zu bedeutender Höhe anwachsen (siehe die Figur Reihe 1). 11h 55′ ist der Puls noch ebenso stark; eine nur vorübergehende Abstellung des Stromes macht schnelles Sinken; nach Wiederzuleitung des Blutes erreicht der Puls die alte Höhe nicht mehr und sinkt auch trotz der fortgesetzten Speisung immer mehr. Die zweite Reihe der Abbildung zeigt, wie schnell bei der schliesslich erreichten Pulshöhe eine erneute Abstellung des Blutstroms schädlich wurde. Die Dauer dieser Sperrung (siehe Signallinie) betrug nur 41 Secunden; die Pulshöhe fiel aber fast auf Null und erholte sich auch nach Wiederzuleitung des Stromes nur unvollkommen.

4. Ist das Blut mit Kohlenoxydgas nahezu oder, soweit man dies beurtheilen kann, vollständig gesättigt, so sind verschiedene Fälle möglich:

a) Es regt das durch Kochsalzlösung erschöpfte Herz zu schwachen und immer schwächer werdenden, oft unregelmässigen Pulsationen an, die nach längerer oder kürzerer Frist, meist schon sehr bald, gänzlich erlöschen.

Ein Beispiel gibt der in Fig. 6 wiedergegebene Versuch vom 6. Juli 1898.

Hier machte das mit Kochsalzlösung durchspülte und erschöpfte Katzenherz durch die Kohlenoxydblutspeisung anfangs sehr unregelmässige, später regelmässiger werdende, immer ganz schwache, aber lang andauernde Pulsationen. Das Blut war zwei Tage zuvor mit Kohlenoxydgas behandelt und unter einer Kohlenoxyd-Atmosphäre aufbewahrt worden; ob es völlig gesättigt war, ist zweifelhaft.

Viel geringer sind die Erfolge in dem durch Fig. 7 erläuterten Versuch vom 19. Juli 1898 gewesen.

Hier war Tags zuvor durch längere Durchleitung für möglichst vollständige Sättigung des mit Kohlenoxydgas behandelten Blutes Sorge getragen und das Blut dann 24 Stunden lang unter Kohlenoxydgas aufbewahrt worden. Nur zwei schwache, bald erlöschende Pulsgruppen treten hier auf. Dann verharrt das Herz dauernd in Ruhe.

b) Das durch Salzwasserspülung erschöpfte Herz wird durch Kohlenoxydblut überhaupt nicht mehr zum Schlagen gebracht, ja

die Durchleitung des vergifteten Blutes vermag das bei arterieller Blutspeisung pulsirende Herz schnell in völligen Stillstand zu versetzen.

In Fig. 8 und Fig. 9 sind Fälle dieser Art dargestellt. Sie entstammen einem am 20. Juli 1898 angestellten Versuch.

Das Blut war mit Kohlenoxydgas, soweit als dies durch alleiniges Durchleiten möglich, gesättigt und unter einer Kohlenoxyd-Atmosphäre 24 Stunden aufbewahrt worden. Kurz vor dem Versuch wurde noch einmal Kohlenoxydgas hindurchgeleitet, um etwaige Kohlensäure, die sich gebildet haben konnte, zu entfernen. Das Versuchsherz wurde mit Kochsalzlösung nahezu völlig zur Ruhe gebracht und, wie Figur 7 zeigt, durch Speisung mit dem vergifteten Blute, die 2½ Minuten lang fortgesetzt wurde, nicht wieder angeregt. In Figur 9 schlug dasselbe Herz unter dem Einfluss einer darauf vorgenommenen arteriellen Speisung recht kräftig. Die erneute Durchleitung von Kohlenoxydblut machte die Pulsationen schnell kleiner und brachte sie schliesslich zum Stillstand.

5. Ein durch Kohlenoxydblut zum völligen Stillstand gebrachtes Herz reagirt nicht auf äussere Reize.

Die Reizbarkeit des mit Kohlenoxydblut durchspülten und stillstehenden Herzens wurde von mir in der Weise untersucht, dass auf das Herz mittelst Rauschgoldelektroden einzelne Induktionsschläge ausgeübt wurden. Contractionen wurden selbst durch starke Schläge nicht bewirkt.

Diese Beobachtung ist desshalb von Wichtigkeit, weil sie lehrt, dass der Herzstillstand bei Entziehung des Sauerstoffs nicht ausschliesslich auf einer Vernichtung der automatischen Impulse beruht, sondern auch durch das Schwinden der musculären Erregbarkeit bedingt ist. Die von mir angestellten Versuche liefern also keine Stütze für die Ansicht derjenigen Physiologen, die im Blutsauerstoff den die Herzbewegungen auslösenden Reiz erblicken.

6. Ist durch Kohlenoxydblutspeisung ein Herz zum Stillstand gelangt oder schlägt es unter diesem Regime nur schwach, so kann es, falls diese Durchspülung nicht allzulange gedauert und das Herz zum Absterben gebracht hat, durch Speisung mit sauerstoffhaltigem arteriellem Blut wieder zum lebhaften, regelmässigen, kräftigen, lange anhaltenden Schlagen gebracht werden. — Schon die im Abschnitt 4 mitgetheilte Fig. 8 liefert dafür den Beweis.

Bei der zweiten Marke wurde arterielles Blut durch das unter Kohlenoxydblut stillstehende Herz geleitet. Schon nach wenigen Secunden fängt das Herz zu schlagen an und erreicht schnell eine beträchtliche Pulsstärke.

Ein ähnliches Verhalten zeigte das Herz, dessen Leistungen Fig. 10 (Versuch vom 29. Juli 1898) wiedergibt.

In diesem Experiment war das Blut, das zunächst zur Speisung diente, nach längerem Durchleiten von Kohlenoxydgas zwei Tage lang unter Kohlenoxyd aufbewahrt worden. Das Versuchsherz wurde durch Salzwasserspülung beruhigt. Die Durchleitung des Kohlenoxydblutes erzeugt eine sich schnell erschöpfende Reihe von schwachen Pulsen. Bei der zweiten Marke (Reihe 2) wurde das mit gleichem Volumen Kochsalzlösung verdünnte arterielle Blut des Versuchsthieres durch das nunmehr völlig stillstehende Herz geleitet. Schon sehr bald treten schwache, alsbald an Energie zunehmende Herzschläge auf; schliesslich pulsirt das Herz zwar alternirend, aber kräftig und regelmässig. In Reihe 3 wird aufs Neue Kohlenoxydblut durchgeleitet. Die Pulse nehmen sehr bald an Stärke ab, werden immer schwächer und schwächer und hören endlich ganz auf.

Ganz entsprechend war der Verlauf in dem Versuch vom 26. Juli 1898, den Fig. 11 illustrirt.

Hier war das Kohlenoxydblut im Eisschrank sogar vier Tage lang unter Kohlenoxydgas aufbewahrt worden. Das Versuchsherz gehörte einer nur vier Wochen alten Katze an. Durch das mit Kochsalzlösung erschöpfte Herz wird (siehe Reihe 1) das Kohlenoxydblut geleitet und führt zu einer längeren Reihe meist unregelmässiger und nur schwacher Pulse. Als das Herz endlich nach 10 Minuten zum Stillstand gekommen ist, wird (siehe Reihe 2) das arterielle Blut eines älteren Thieres, mit der gleichen Menge Salzwasser verdünnt, hindurchgeschickt. Die Pulsationen beginnen nach wenigen Secunden, sind erst sehr unregelmässig und unkräftig, zeigen aber bald volle Energie und grösste Regelmässigkeit (Reihe 3). In der vierten Reihe wird das arterielle Blut wieder durch das Kohlenoxydblut ersetzt, und es gelingt dadurch, das Herz wieder allmälig zum Stillstand zu bringen.

Die Schnelligkeit, mit der sich in solchen Versuchen das unter Kohlenoxydblutspeisung stillstehende Herz bei Zufuhr von sauerstoffhaltigem Blute erholt, spricht übrigens ebenfalls für die Richtigkeit der oben erwähnten Auffassung, derzufolge das Kohlenoxydgas nicht ein primäres Herzgift ist, sondern nur durch den Sauerstoffmangel das Herz zum Stillstand bringt.

Die wichtigsten Schlüsse, die aus diesen Beobachtungen zu ziehen sind, sind zum Theil schon oben formulirt worden. Einmal geht daraus hervor, dass bei völlig zureichender Speisung mit der besten Ernährungsflüssigkeit, die man ihm zuführen kann, falls diese völlig sauerstofffrei ist, das Säugethierherz seine Thätigkeit einstellt, oder,

wenn es schon vorher durch Salzwasserspülung erschöpft war, sie gar nicht oder nur ganz unvollkommen wieder aufnimmt. Zweitens folgt aus den mitgetheilten Versuchen, dass eine verhältnissmässig geringe Zufuhr von freiem Sauerstoff genügt, um das Herz eine Zeit lang am Leben und bei kräftiger Thätigkeit zu erhalten.

Schon aus den Versuchen von Rusch mit anorganischen Salzlösungen (alkalischer Kochsalzlösung, besonders Ringer'scher Flüssigkeit) und sauerstoffarmem Blutserum musste dieser letztere Schluss gezogen werden. Mit noch grösserer Deutlichkeit ist er aber aus den obigen Versuchen zu folgern, in denen Blut, das so weit mit Kohlenoxydgas geschwängert war, dass eine durch das Spektroskop nachweisbare Reduction durch die üblichen Verfahren nicht mehr zu erzielen war, das Herz aus der durch Auswaschung hervorgerufenen Erschöpfung sofort zu neuem Leben zu erwecken und eine allerdings nur begrenzte Zeit hindurch bei kräftigem Schlage zu erhalten vermochte.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. O. Langendorff für die Anregung zu vorstehender Arbeit und für die freundliche Unterstützung und Anleitung bei derselben meinen besten Dank auszusprechen.

Literatur-Verzeichniss.

M. Albanese, Archiv f. exper. Pathol. u. Pharm. Bd. 32 S. 297. 1893.
T. Castell, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1854. S. 226.
E. v. Cyon, Comptes rendus de l'Académie des Sciences 1867. Siehe auch „Gesammelte physiolog. Arbeiten" S. 79. Berlin 1888.
J. Divine, Archiv f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 533. 1898.
S. Handler, Zeitschrift f. Biologie Bd. 26 S. 233.
A. Heffter, Archiv f. exper. Pathol. u. Pharm. Bd. 29 S. 41. 1892.
F. A. v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser Bd. 2 S. 264. Posen u. Berlin 1797.
L. Hermann, Untersuchungen üb. den Stoffwechsel der Muskeln S. 45. Berlin 1867.
F. Klug, Archiv f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 435. 1879.
W. Kühne, Zeitschrift f. Biologie (N. F.) Bd. 17 S. 43 und Bd. 18 S. 425.
A. J. Kunkel, Die Wirkung des Kohlenoxydes auf kaltblütige Thiere. Festschrift für Adolf Fick S. 53. 1899.

O. Langendorff, Archiv f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 241. 1881.
Derselbe, Archiv f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) Suppl.-Bd. 1884.
Derselbe, Archiv f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 411. 1893.
Derselbe, Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. 61 S. 291. 1895.
Derselbe, Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. 66 S. 355. 1897.
F. S. Locke, Centralblatt f. Physiologie Heft 11. 1898.
L. Luciani, Berichte d. sächs. Ges. d. Wissensch. Mathem.-phys. Classe S. 111. 1873.
Merunowicz, Berichte der sächs. Ges. d. Wissensch. Mathem.-phys. Classe S. 253. 1875.
Mc. Guire, Verhandl. d. physiol. Ges. zu Berlin. Archiv f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 321. 1878.
H. Oehrwall, Skand. Archiv f. Physiol. Bd. 7 S. 222, 1897 und Bd. 8 S. 1, 1898.
W. T. Porter, Americain Journal of Physiology vol. 1 no. 4 pag. 511. 1898.
M. J. Rossbach, Ber. d. sächs. Ges. d. Wissensch. Math.-phys. Classe S. 193. 1874.
H. Rusch, Untersuchungen über die Ernährung des isolirten Säugethierherzens nebst geschichtlichen Studien zur künstlichen Speisung des Herzmuskels. Inaugural-Dissertation. Greifswald 1898.
Derselbe, Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. 73 S. 535. 1898.
Sokolow u. Luchsinger, Archiv f. d. ges. Physiol. S. 283. 1880.
G. Yeo, Journal of Physiology vol. 6 no. 3 pag. 93. 1885.

Fig. 1.

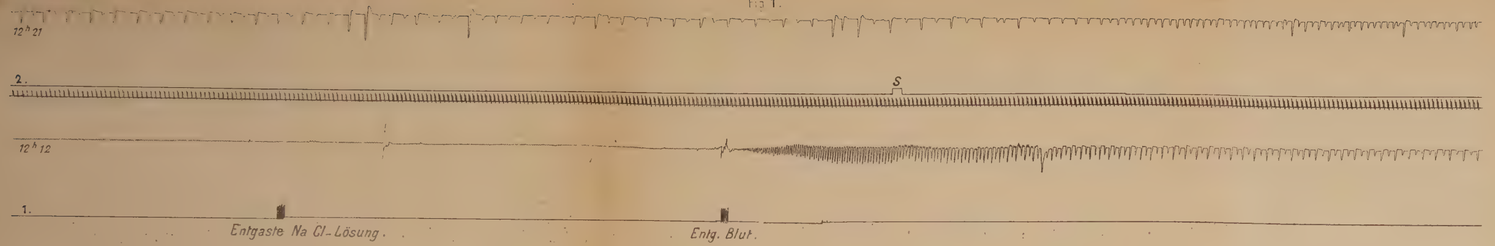


Fig. 7.

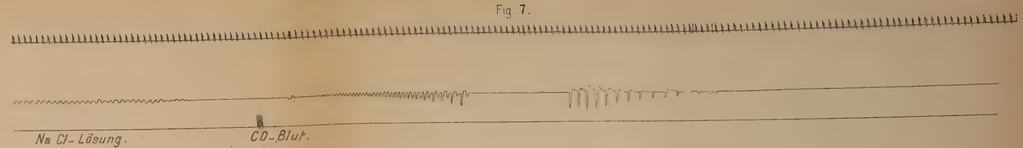
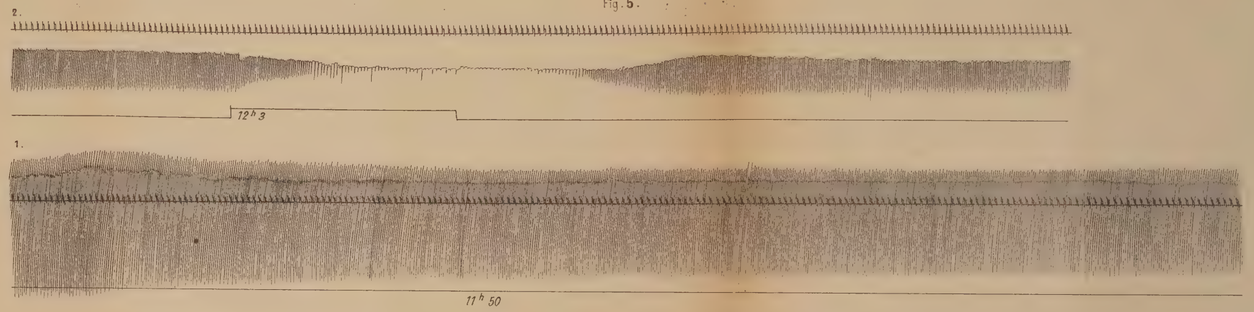


Fig. 5.



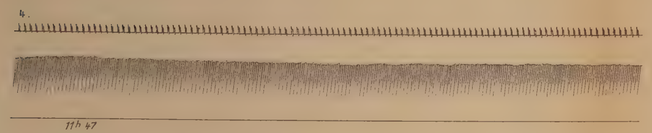


Fig. 3.

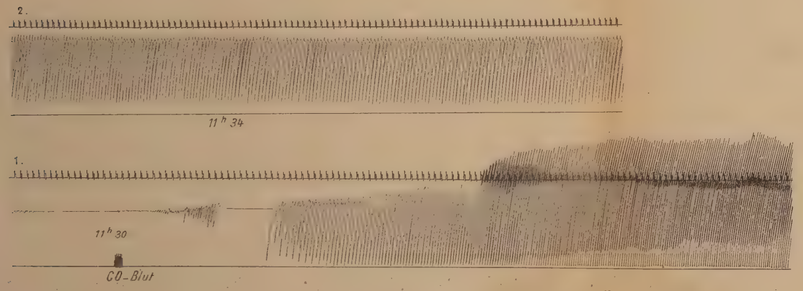
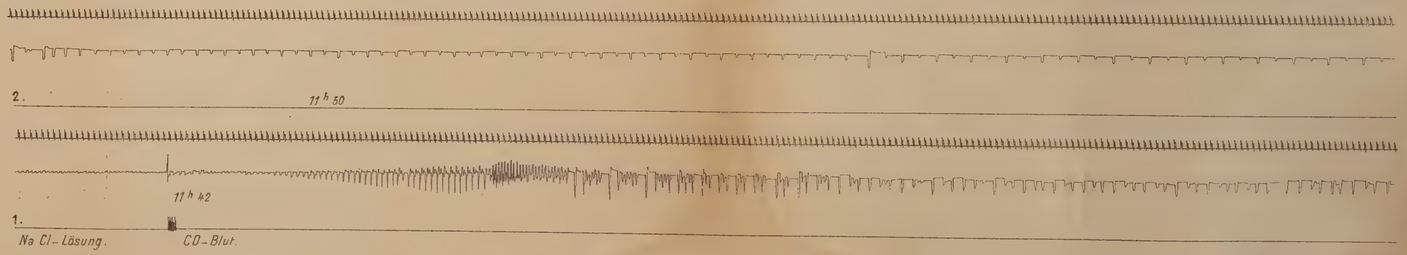


Fig. 6.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Fig. 8.

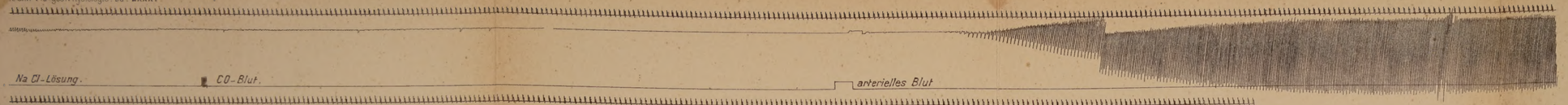


Fig. 10.

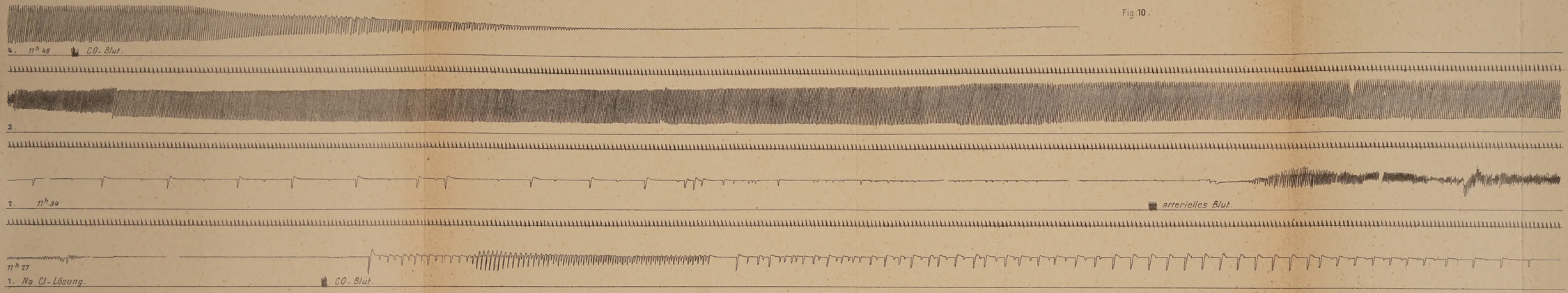


Fig. 11.

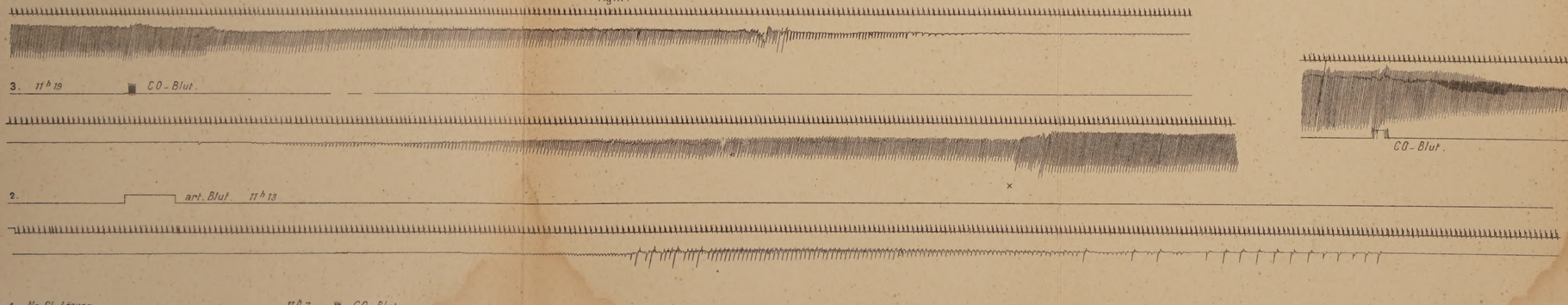


Fig. 9.

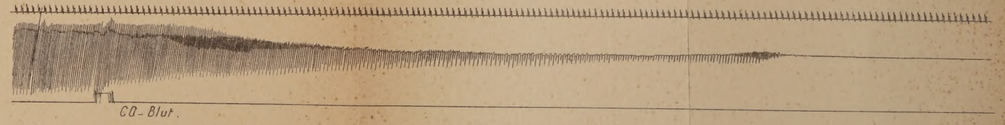
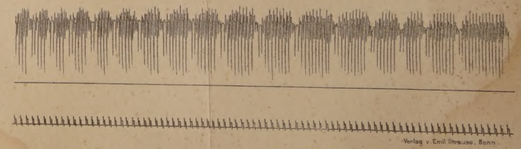


Fig. 4.



Lith. Anst. v. P. Wirtz, Darmstadt.

Verlag v. Emil Strauss, Bonn.